

ПРИАЗОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ФРОЛОВА Зинаида Васильевна

УДК 621.771

ВЛИЯНИЕ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ НА КИНЕТИКУ  
ПРЕВРАЩЕНИЯ АУСТЕНИТА В СТАЛЯХ  
РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА

Специальность 05.16.01 – металлведение и термическая  
обработка металлов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Мариуполь 1995

ДБЗв. 500

Диссертация является рукописью  
Работа выполнена в Приазовском государственном техническом университете

- Научный руководитель: Хлестов Владимир Михайлович, кандидат технических наук, доцент
- Научный консультант: Ткаченко Федор Константинович, доктор технических наук, профессор
- Официальные оппоненты: Малинов Леонид Соломонович, доктор технических наук, профессор  
Грослиевский Давид Израильевич, кандидат технических наук
- Ведущее предприятие: МК "Азовсталь"

Защита состоится "18" сентября 1995 г. в 14.00 часов на заседании специализированного ученого совета К 14.01.03 при Приазовском государственном техническом университете по адресу: 341000, Мариуполь, пер. Республики, 7.

Ваш отзыв, заверенный печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Приазовского государственного технического университета

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1995 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
доктор техн. наук, профессор *В.А. Маслов* В.А. Маслов

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00777076 (Y)

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Разработка всех видов термомеханической обработки (ТМО) имеет важное экономическое значение, т.к. более высокие прочностные и вязкие свойства стали, полученной способом ТМО, предопределяют возможности снижения веса машин и сооружений, повышение их надежности и долговечности в эксплуатации. Одно из важных направлений в проблеме ТМО сталей — закономерности фазовых превращений деформированного аустенита. Их изучение проводилось и сейчас проводится многими исследователями, но имеющаяся информация носит разрозненный характер по отдельным маркам сталей. В литературе не освещены вопросы, как влияют легирующие элементы на деформационные эффекты, как изменяется кинетика распада горячедеформированного аустенита в сталях различного состава в изотермических условиях и при непрерывном охлаждении.

Представляется, что объективные ответы на эти вопросы имели бы определяющее значение для обоснования рационального легирования сталей, подвергаемых ТМО и выбора оптимальных температурно-деформационных параметров.

Цель и задачи исследования. Цель работы — установление особенностей и общих закономерностей кинетики превращений горячедеформированного аустенита в сталях с различным содержанием углерода и легирующих элементов в изотермических условиях и при непрерывном охлаждении.

В соответствии с поставленной целью выполнялись следующие задачи:

I. Исследование изотермической кинетики распада горячедеформированного аустенита в перлитной области в сталях различного состава. Определение кинетических параметров — скорости за-

рождения и скорости роста перлита.

2. Изучение изотермической кинетики бейнитного превращения горячедеформированного аустенита в различно легированных сталях. Исследование перераспределения углерода при бейнитном превращении деформированного и недеформированного аустенита.

3. Изучение в сталях различного состава особенностей влияния горячей деформации на кинетику превращения аустенита в изотермических условиях и при непрерывном охлаждении.

4. Исследование влияния температурно-деформационных параметров и скорости охлаждения на кинетику распада аустенита, структуру и механические свойства низкоуглеродистых сталей.

5. Изучение возможностей использования деформационных эффектов в перлитной области для повышения температуры изотермической выдержки при отжиге высоколегированных инструментальных сталей.

На защиту выносятся следующие основные положения:

1. Результаты исследования особенностей и общих закономерностей кинетики превращения аустенита в сталях различного состава в перлитной и бейнитной областях - в изотермических условиях и при непрерывном охлаждении.

2. Результаты промышленного опробования разработанных технологических параметров прокатки малоperlитных сталей.

3. Способ предварительной обработки высоколегированной инструментальной стали.

#### Научная новизна:

1. Установлено, что в интервале перлитного превращения ускоряющий эффект деформационного воздействия связан с интенсификацией процессов зарождения. Это величина при условии подавления рекристаллизации аустенита не зависит от характера и степени

ни легирования. В малуглеродистых сталях (при содержании менее 0,1 % С) деформационный эффект зависит от содержания углерода, достигая максимума при 0,04–0,06 % С.

2. В бейнитной области деформационные эффекты зависят как от содержания углерода, так и от характера и степени легирования стали. Установлено, что карбидообразующие элементы в совокупности с углеродом сужают область активизирующего действия деформации, тогда как некарбидообразующие элементы ее расширяют.

3. Выявлена активизация под действием горячей деформации процессов карбидообразования при температурах верхней ветви бейнитной области.

4. Установлено, что различие во влиянии горячей деформации на кинетику распада переохлажденного аустенита при непрерывном охлаждении и в изотермических условиях обусловлено действием последеформационных пауз, которые практически всегда возникают при непрерывном охлаждении от температуры деформации до температуры начала превращения.

Практическая ценность и реализация результатов работы. Показана принципиальная возможность регулирования устойчивости переохлажденного аустенита и процессов структурообразования в сталях с различным характером и степенью легирования путем изменения температурно-деформационных параметров, температур изотермических выдержек и скорости охлаждения. Впервые построены изотермические и термокинетические диаграммы распада деформированного и недеформированного аустенита сталей 60ХС2, 30ХСН2, 7Х3, 06Х4Г2. Полученные в диссертационной работе результаты использованы в научных разработках Азовской производственной ассоциации при выборе технологических параметров ТМО, контролируемой прокатки и корректировке химического состава сталей, подвергаемых

указанной обработке.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на I всесоюзной научно-технической конференции "Термическая и термомеханическая обработка стали - важнейший резерв экономии металла" (Днепропетровск, 1981), II всесоюзной научно-технической конференции "Повышение качества металлопроката путем термической и термомеханической обработки" (Днепропетровск, 1985), научно-технической конференции ТдМТ (1989), всесоюзной выставке достижений народного хозяйства (Москва, 1986).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано семь работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка использованной литературы (152 наименования); содержит 120 страниц машинописного текста, 47 рисунков, 8 таблиц.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Обоснована актуальность решаемой проблемы. Показана научная новизна. Изложены основные положения, которые выносятся на защиту.

Глава I. Состояние вопроса и задачи исследования. Выполнен литературный обзор и критический анализ состояния вопроса исследования фазовых превращений деформированного аустенита. Сформулированы цель и задачи исследования.

Глава 2. Материал и методика исследования. Химический состав исследованных сталей приведен в табл. 1.

Использование при исследовании 22 марок сталей было необходимо для выявления общих закономерностей влияния горячей деформации на кинетику фазовых превращений в сталях различного характера и степени легирования.

Таблица I

Химический состав изученных сталей

Марка стали	Содержание элемента, %										
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Nb	W
60XC2	0,56	0,70	1,76	0,018	0,008	0,92	-	-	-	-	-
30XГCH2	0,28	1,08	0,70	0,015	0,011	1,13	1,93	-	-	-	-
40XHM	0,40	0,71	0,31	0,013	0,011	0,74	1,36	0,15	-	-	-
40X	0,36	0,77	0,24	0,021	0,007	0,98	-	-	-	-	-
20X13	0,18	0,30	0,45	0,020	0,010	12,9	-	-	-	-	-
5XB2C	0,52	0,33	0,96	0,019	0,008	1,20	-	-	-	-	2,10
45X3M	0,43	0,25	0,30	0,011	0,007	2,95	-	0,33	-	-	-
XB1'	0,91	1,07	0,33	0,013	0,008	1,0	-	-	-	-	1,58
06X4Г2	0,06	2,17	0,24	0,014	0,007	4,19	-	-	-	-	-
12X4Г2	0,12	2,17	0,24	0,014	0,007	4,19	-	-	-	-	-
04X7H2	0,04	0,48	0,25	0,011	0,007	6,9	1,90	-	-	-	-
02X7H2	0,02	0,50	0,24	0,012	0,007	6,8	2,0	-	-	-	-
006X7H2	0,008	0,44	0,25	0,011	0,008	6,9	2,1	-	-	-	-
55XГC2	0,55	1,2	1,64	0,013	0,024	0,97	-	-	-	-	-
45H5	0,44	0,44	0,21	0,019	0,011	-	4,80	-	-	-	-
7CH2	0,70	0,38	0,66	0,016	0,013	-	2,2	-	-	-	-
У8	0,81	0,18	0,24	0,022	0,027	0,1	0,14	-	-	-	-
9X	0,93	0,28	0,58	0,016	0,021	1,03	-	-	-	-	-
60C2	0,56	1,7	0,74	0,025	0,015	-	-	-	-	-	-
P6M5	0,85	0,33	0,31	0,011	0,009	4,0	-	5,1	1,9	-	6,0
P18	0,75	0,30	0,29	0,013	0,007	4,2	-	0,6	1,2	-	18,3
09Г2	0,13	1,34	0,28	0,017	0,017	0,02	0,03	-	-	-	-
09121E	0,09	1,56	0,24	0,004	0,012	0,02	-	-	0,08	0,03	-

Для изучения кинетики фазовых превращений деформированного и недеформированного аустенита в изотермических условиях использовался магнитометрический метод (установка типа "магнитные весы"). Основным достоинством этого метода является возможность быстрой установки образцов в поле магнита, что особенно важно после применения горячей пластической деформации. Относительная погрешность определения количества ферромагнитной фазы не превышает 1,5 %.

Кинетика распада переохлажденного аустенита при непрерывном охлаждении исследовалась dilatометрическим и дифференциальным термическим методами. В исследовании использовался dilatометр специальной конструкции, позволяющий в отличие от известных, быстро (за 1-2 с) устанавливать в держателе деформированный образец и сразу же начинать регистрацию dilatометрической кривой. Дифференциальный термический метод кроме двухкоординатного потенциометра не требует дополнительного оборудования, он удобен в обращении и обладает достаточно высокой точностью (относительная погрешность составляет 1-2 %).

Содержание углерода в остаточном аустените определяли рентгеновским методом на дифрактометре "ДРОН-1,5" методом сканирования по точкам в железном  $K\alpha$  излучении. Абсолютная погрешность в определении параметра решетки составляла  $\pm 0,0007 \text{ \AA}$ , что соответствовало точности определения углерода в остаточном аустените  $\pm 0,015 \%$ .

Структуру остаточного аустенита изучали электронномикроскопическим методом на микроскопе 1МВ-100К при ускоряющем напряжении 100 Кэ и 16000-кратном увеличении.

Металлографический анализ и изучение механических свойств проводились по стандартным методикам.

### Глава 3. Влияние горячей пластической деформации на кинетику превращения аустенита в перлитной области

3.1. Влияние горячей деформации на кинетику полиморфного превращения. Влияние горячей (при 1000-700 °С) деформации (от 20 до 60 %) на кинетику полиморфного превращения аустенита, переохлажденного за 1-2 с до температур изотермической выдержки (600-680 °С) изучалось на низкоуглеродистых мартенситных сталях типа Х4Г2, Х7Н2 с 0,008-0,12 % углерода. Аустенит в этих сталях при исследованных температурах изотермы претерпевает полиморфное превращение с образованием полиэдрического феррита.

Установлено, что горячая деформация ускоряет полиморфное  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращение во всех исследованных сталях. Это ускорение подчиняется следующим закономерностям: полиморфное превращение ускоряется тем сильнее, чем ниже температура деформации, больше степень обжатия, выше температура изотермической выдержки, проявляясь в большей степени на начальных стадиях превращения, что как показали результаты экспериментов, связано с интенсификацией процессов зарождения по границам аустенитных зерен. Это, по-видимому, связано с тем, что при горячей пластической деформации отмечается значительное повышение плотности зернограницных дефектов, приводящих к повышению свободной поверхностной энергии границ зерен аустенита. При образовании зародыша по диффузионному механизму высвобождается вся энергия границы и она полностью расходуется на уменьшение энергии возникающей межфазной поверхности. Следовательно работа образования ферритного зародыша в деформированном аустените будет меньше, чем при образовании в недеформированном аустените.

Говоря об ускорении полиморфного  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения под действием деформации следует рассмотреть роль углерода в изме-

нении величины деформационных эффектов, имеющем место при варьировании его содержания от 0,12 до 0,008 % (рис. 1). В некоторых литературных источниках отмечается, что при уменьшении содержания углерода ниже 0,12-0,10 % начинает усиливаться роль свободных вакансий в граничной самодиффузии, вследствие уменьшения степени их блокировки атомами углерода, что обуславливает сильное ускорение  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения. Горячая деформация также ускоряет полиморфное превращение, т.е. два фактора действуют в одном направлении. И, по-видимому, до 0,06-0,04 % C преобладающую роль в относительном ускорении  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения имеет деформация, а при дальнейшем уменьшении содержания углерода скорость превращения и без деформации начинает столь сильно увеличиваться, что деформационный эффект идет на убыль.

3.2. Влияние горячей пластической деформации на кинетику перлитного превращения. Эксперименты были проведены на многих марках сталей. Их выбор проводили таким образом, чтобы в исследованиях были представлены нелегированные стали (У8), монолегированные карбидообразующим (40X, 35X3, 7X3, 20X13) и некарбидообразующим элементом (45H5, 70H2), а также стали, легированные в различных сочетаниях несколькими элементами (60XC2, 30XГСН2 и др.).

Для выявления влияния горячей деформации на перлитное превращение, а также влияния легирования на проявление деформационных эффектов, стали подвергали следующей обработке: деформацию проводили при температурах, когда отсутствует динамическая и замедлена статическая рекристаллизация (ниже 900 °C), с последующим ускоренным охлаждением (за 1-2 с) до температур изотермических выдержек. При изучении влияния горячей деформации на перлитное превращение была отмечена полная аналогия в

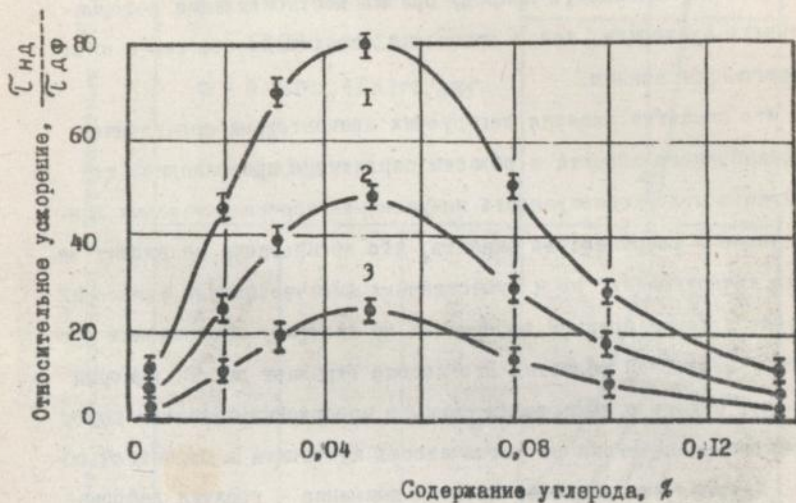


Рис. I Влияние деформации на 60 % при 800 °С на относительное сокращение времени образования 5 % феррита ( $\tau_{НА} / \tau_{ДФ}$ ) в сталях X7H2 и X4Г2 с различным содержанием углерода ( I - превращение при 680 °С; 2 - при 650 °С; 3 - при 620 °С )

выявленных закономерностях деформационного воздействия на полиморфное  $\gamma \rightarrow \alpha$  при вращение и эвтектоидный распад. Эта аналогия указывает на одинаковую природу причин дестабилизации деформированного аустенита, как в отношении эвтектоидного, так и полиморфного превращения.

Что касается влияния легирующих элементов на проявление деформационного эффекта в области перлитного превращения, то оценивая в целом совокупность полученных экспериментальных данных, можно с уверенностью сказать, что легирование не вносит не только качественных, но и существенных количественных изменений в эффект влияния горячей деформации на кинетику превращения аустенита в перлитной области. Это хорошо отражает рис. 2, который позволяет судить о роли легирования в проявлении эффектов деформационного воздействия на устойчивость аустенита в перлитной области. Первое, что обращает на себя внимание – горячая деформация независимо от характера и степени легирования стали понижает устойчивость аустенита тем больше, чем выше температура превращения. Второе, величина эффектов относительного ускорения превращения горячедеформированного аустенита в углеродистой, низко-, средне-, высоколегированной сталях укладывается в достаточно узкую экспериментальную полосу. Причем разброс экспериментальных точек таков, что не выявляется какая-либо тенденция к изменению степени дестабилизации аустенита в зависимости от легирования сталей. Даже в высоколегированной стали (20X13), в которой эвтектоидный распад протекает с образованием специальных карбидов, степень ускорения перлитной реакции под действием горячей деформации практически такая же, как и в углеродистой стали (У8).

Глава 4. Влияние горячей пластической деформации на кинет

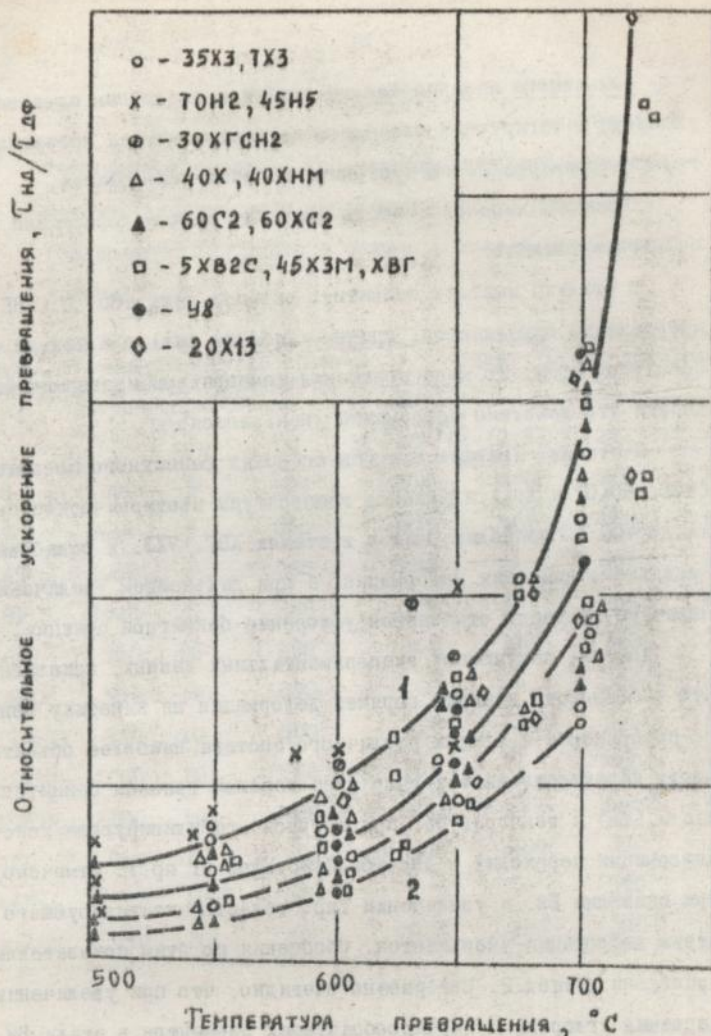


Рис.2 Влияние деформации прокаткой при 800-850 °С

с обратием на 25 % на относительное ускорение превращения аустенита в перлитной области в сталях различного состава.

1 - полоса ускорения начальной (5 %) стадии превращения;

2 - полоса ускорения периода полураспада.

тику бейнитного превращения. В сталях с различным содержанием углерода и легирующих элементов изучена кинетика превращения горячедеформированного аустенита в бейнитной области.

Отмечена неоднозначность влияния горячей деформации на бейнитную реакцию.

В сталях, имеющих бейнитную область ниже  $400^{\circ}\text{C}$  (ХВГ, 7ХЗ), превращение замедляется, причем наиболее сильно в нижней ветви бейнитной зоны, по мере повышения температуры изотермической выдержки это действие деформации уменьшается.

В сталях, имеющих широкий интервал бейнитного превращения (40Х, 60ХС2 и др.) повышение температуры изотермической выдержки до  $400^{\circ}\text{C}$  приводит, как и в сталях ХВГ, 7ХЗ, к ослаблению замедляющего действия деформации, а при дальнейшем увеличении температуры изотермы отмечается ускорение бейнитной реакции.

Анализ, полученных экспериментальных данных, показывает, что особенности влияния горячей деформации на кинетику бейнитного превращения в сталях различного состава наиболее объективно могут характеризовать температура верхней границы бейнитной области (Бн) и температура, при которой стабилизирующее действие деформации переходит в дестабилизирующее (Т пр.). Отмечено, что при снижении Бн. и увеличении Тпр. область активизирующего действия деформации уменьшается. Обобщения по этим показателям приведены в табл.2. Совершенно очевидно, что при увеличении содержания углерода и карбидообразующих элементов в стали Бн снижается, а Тпр. увеличивается. Так например, в стали 40Х: Бн -  $550^{\circ}\text{C}$ , Тпр. при 25 % обжатии -  $380^{\circ}\text{C}$ ; в стали 35ХЗ: Бн -  $500^{\circ}\text{C}$ , Тпр. при 25 % обжатия -  $470^{\circ}\text{C}$ ; в стали 7ХЗ: Бн- $390^{\circ}\text{C}$  Тпр. отсутствует. Таким образом, в стали 7ХЗ проявляется только замедляющее действие деформации

Таблица 2

Температура перехода  $T_{пр}$  стабилизирующего действия горячей деформации в дестабилизирующее при 5 % превращении аустенита в бейнит в сталях различного состава

Марка стали	Температура нагрева, °C	Время выдержки, мин	Температура деформации, °C	Бн ±20 °C	T <sub>пр.</sub> °C при деформации, %		
					12,5	25	50
У8	1000	5	800	450	400	360	350
9Х	1000	5	860	450	410	380	360
7Х3	1000	5	860	390	-	нет	нет
ХВГ	1000	5	860	450	нет	нет	нет
60С2	950	10	800	450	420	390	380
60ХС2	950	10	800	500	-	380	370
55ХГС2	950	10	800	410	нет	нет	нет
5ХВ2С	1000	10	860	550	-	480	460
45Х3М	1000	10	800	520	-	нет	440
40Х	950	10	800	500	400	380	360
45НБ	950	10	800	460	-	370	350
40ХНМ	950	10	800	520	420	390	370

Для ряда сталей сделан рентгенографический анализ содержания углерода в остаточном аустените (табл. 3). Установлено, что после изотермической выдержки при температурах нижней ветви бейнитной области остаточный аустенит деформированных образцов сильнее обогащается углеродом по сравнению с недеформированными образцами. Сопоставление влияния горячей пластической деформации на точку  $M_n$  (в исследованных сталях  $M_n$  под действием горячей деформации понижается), кинетики превращения горячедеформированного аустенита в бейнитной области и рентгенографических данных позволяет сделать заключение, что для реализации бейнитного превращения в деформированных образцах необходим более значительный отвод углерода от фронта растущих кристаллов, т.е. более значительное перераспределение углерода в деформированных образцах можно отнести к факторам замедляющим бейнитное превращение. Отмечено, что после обработки на верхний бейнит в остаточном аустените деформированных образцов углерода меньше, чем в недеформированных. Электронномикроскопическое исследование позволило установить, что это связано с процессом карбидообразования, который развивается в деформированных образцах. Интенсификация процесса карбидообразования под действием деформации отмечается при ускорении бейнитного превращения. Таким образом, усиление карбидообразования относится к факторам ускоряющим бейнитную реакцию.

Легирующие элементы совместно с углеродом смещают температурный интервал бейнитной области. Поскольку величина и направление воздействия предварительной горячей деформации на аустенит и его устойчивость в бейнитной зоне сильно зависят от температуры изотермы, то смещение этого интервала должно оказывать значительное влияние на величину эффекта деформационного воз-

Таблица 3

Изменение параметра решетки (а) аустенита и содержания углерода (С) в нем при безытнем превращении в деформированных на 25 % (числитель) и недеформированных (знаменатель) образцах (среднее значение из трех измерений)

Марка стали	Температура, °С			Оте- пень превр. %	Углов. мин	$\Delta a, \text{Å}$	$\Delta C, \%$
	аусте- нит.	де- форм.	преврац.				
55ХГЦ2	950	800	300	50/50	13,5	0,0109	0,24
					7	0,0059	0,13
				67/67	23	0,0191	0,42
					15	0,0132	0,29
			350	50/50	22,5	0,0186	0,41
					19,0	0,0157	0,34
60ХЦ2	950	800	300	50/50	11	0,0091	0,20
					6,5	0,0045	0,10
				70/70	22	0,0182	0,40
					13	0,0114	0,25
			400	50/50	20,5	0,0168	0,37
					23,0	0,0191	0,42
60ХЦ2	950	500	400	50/50	15,0	0,0132	0,29
					23,5	0,0195	0,43
40ХЦ2	800	350	300	50/50	11,5	0,0095	0,21
					6,5	0,0055	0,12
				75/75	32	0,0223	0,59
					24,5	0,0205	0,45
ХВГ	800	300	300	70/70	1,0	-0,0009	-0,02
					0,5	-0,0005	-0,01
			400	70/70	15	-0,0125	-0,28
				9	-0,007	-0,17	

действия. Если в результате изменения состава стали бейнитная область поднимается, то это предопределяет развитие в горячедеформированном аустените дестабилизирующих процессов, в частности, ускоренке карбидообразования и процессов возврата. Карбидообразующие элементы значительно уменьшают термодинамическую активность углерода в аустените, поэтому они тормозят выделение цементита непосредственно из аустенита при выдержках в области бейнитного превращения. Кроме того карбидообразующие элементы, образуя облака Коттрелла, блокируют дислокации и тормозят развитие возврата. По-видимому, все это является причиной того, что в сталях с повышенным содержанием углерода и карбидообразующих элементов, факторы замедляющие бейнитное превращение являются преобладающими.

Глава 5. Особенности фазовых превращений горячедеформированного аустенита в изотермических условиях и при непрерывном охлаждении. Исследования проведены на сталях низколегированных (40X, 60XC2) и среднелегированных (30XГСН2, 40XНМ). Для этих сталей построены изотермические и термокинетические диаграммы распада деформированного и недеформированного аустенита.

Показано, что горячая деформация при 900 °С с обжатием на 25 % ускоряет изотермическое превращение аустенита исследованных сталей в перлитной области и тем значительное, чем выше температура изотермы. Устойчивость аустенита в бейнитной области в результате деформационного воздействия изменяется неоднозначно: при температурах нижней зоны бейнитной области изотермическое превращение тормозится, а при температурах верхней зоны, наоборот ускоряется. В условиях непрерывного охлаждения активизирующее действие горячей деформации на превращение аустенита: низколегированных сталей 40XБ, 60XC2 в перлитной и бейнитной облас-

тлях оказывается гораздо более слабым, чем в изотермических условиях. У сталей, имеющих большую устойчивость переохлажденного аустенита (40XHM, 30XГСН2) при непрерывном охлаждении горячая деформация не ускоряет распад аустенита в перлитной области и несколько тормозит в бейнитной.

Отмеченные различия в действии одной и той деформации на кинетику превращения аустенита в изотермических условиях и при непрерывном охлаждении обусловлены тем, что при непрерывном охлаждении фактически всегда присутствуют последеформационные паузы (время переохлаждения от температуры деформации до начала превращения), действие которых будет более длительным в сталях с повышенной устойчивостью переохлажденного аустенита (30XГСН2, 40XHM). Наличие последеформационных пауз способствует протеканию рекристаллизационных процессов, степень развития которых будет меньше в низколегированных сталях (40X, 60XС2), обладающих небольшой устойчивостью переохлажденного аустенита.

Таким образом, высокотемпературная деформация, замедляющая развитие бейнитного превращения при непрерывном охлаждении, может быть использована для повышения бейнитной прокаливаемости конструкционных сталей (30XГСН2 и др.), имеющих малую устойчивость аустенита в бейнитной области.

#### Глава 6. Возможности практического использования результатов исследования по влиянию горячей деформации на превращение переохлажденного аустенита

6.1. При изменении температурно-деформационных параметров меняется состояние аустенита, кинетика его распада при последующем охлаждении, что способствует формированию той или иной конечной структуры. Одна из задач контролируемой прокатки — получение максимально измельченного ферритного зерна, а это знач-

чит - максимально измельченного зерна аустенита.

В лабораторных условиях была имитирована контролируемая прокатка и исследованы возможности дополнительного измельчения аустенитного зерна стали 09Г2Ф. На основании полученных результатов была дана рекомендация по применению ускоренного охлаждения между черновой и чистовой прокатками.

По предложенной рекомендации на стане 3000 ММ им. Ильича г. Мариуполя осуществлена прокатка штрипса из стали 09Г2ФБ с ускоренным охлаждением подката в диапазоне температур 1020 - -850 °С. Время охлаждения между черновой и чистовой прокатками составило 2,5 мин. В результате получен штрипс со следующими показателями механических свойств:  $\sigma_B = 620-630$  МПа,  $\delta = 22-24$  % (для штрипса с тем же химсоставом, полученного по основной технологии  $\sigma_B = 560-580$  МПа,  $\delta = 23$  %).

6.2. В лабораторных условиях исследована кинетика распада переохлажденного аустенита судостали 09Г2 при различных температурно-деформационных параметрах и показана целесообразность производства судостали из этой стали способом контролируемой прокатки. На стане 3000 ММ им. Ильича г. Мариуполя было проведено опытно-промышленное опробование производства листа из стали 09Г2 способом контролируемой прокатки. Значения механических свойств стали 09Г2 после опытно-промышленного опробования с большим запасом удовлетворяют требованиям Регистра, предъявляемые к стали повышенной прочности категории Д32.

6.3. Использование ускоряющего действия горячей деформации на кинетику перлитного превращения позволяет усовершенствовать технологию изотермического отжига высоколегированных инструментальных сталей (Р18, Р6МБ и др.). Деформационные эффекты в области перлитного превращения дают возможность поднять темпера-

туру изотермической выдержки при отжиге инструментальных сталей на 40-70 °С. Это приводит, вследствие получения крупнозернистого перлита, к дополнительному снижению твердости стали. Данный температурный интервал ограничивается обеспечением достаточного смягчающего эффекта.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Проведенное на 22 марках стали исследование влияния горячей (при 1000-700 °С) деформации с обжатием от 20 до 60% на кинетику превращения аустенита в перлитной и бейнитной областях позволило выявить эффекты деформационного воздействия и установить закономерности их проявления.

2. В интервале перлитного превращения эффекты деформационного воздействия проявляются в ускорении распада аустенита, причем особенно сильно в начальной стадии превращения, что, как показали эксперименты, связано с интенсификацией под действием деформации процессов зарождения. Во всех исследованных сталях ускорение превращения в этой области увеличивается при понижении температуры деформации, увеличении степени обжатия и повышении температуры изотермической выдержки.

3. В сталях, при содержании углерода менее 0,12%, в проявлении деформационных эффектов, помимо отмеченных факторов, велика роль углерода. При понижении его содержания ускоряющий эффект деформации увеличивается, достигая максимума при 0,06 - 0,04% С.

4. Установлено, что если термомеханическая обработка проведена таким образом, что подавляется рекристаллизация аустенита (деформация при 860-800 °С, затем ускоренное охлаждение за 1-2 с до температур изотермической выдержки), то легирующие элементы не оказывают влияния на проявление деформационных эффек-

тов в перлитной области.

5. Отмечено, что в bainитной области горячая деформация замедляет превращение аустенита при температурах изотермии ниже  $400-450^{\circ}\text{C}$  и ускоряет при более высоких температурах. Переход от тормозящего действия горячей деформации на bainитную реакцию в активизирующее происходит постепенно, по мере повышения температуры изотермической выдержки.

6. Температура изотермии, при которой замедляющее действие деформации переходит в ускоряющее, зависит от параметров деформации и химического состава стали. Она увеличивается при понижении степени деформации, совместного увеличения содержания углерода и карбидообразующих элементов.

7. Показано, что более значительное перораспределение углерода в деформированном аустените относится к факторам, обуславливающим замедление превращения в bainитной области, а активизация процессов карбидообразования под действием горячей деформации является фактором ускоряющим bainитное превращение.

8. Установлено, что различие во влиянии горячей деформации на кинетику превращения аустенита при непрерывном охлаждении и в изотермических условиях обусловлено действием последеформационных пауз, способствующих протеканию рекристаллизационных процессов, степень развития которых зависит от химического состава стали. В сталях с малой устойчивостью переохлажденного аустенита (40X, 60XС), где рекристаллизация не успевает развиться в полной мере, влияние деформации на превращение сохраняется. В легированных сталях, имеющих большую устойчивость переохлажденного аустенита, в результате протекания рекристаллизационных процессов, влияние горячей деформации либо нивелируется (40XНМ), либо сохраняется в bainитной области ее тормозящее действие

(ЗОХГСН2).

9. Анализ совокупности экспериментальных данных по кинетике превращения деформированного аустенита и процессам структурообразования позволил выявить положительные и отрицательные стороны влияния горячей деформации в различно легированных сталях, на основании чего могут быть даны следующие практические рекомендации:

а) высокотемпературная деформация, закладывая развитие бейнитного превращения при непрерывном охлаждении, может быть использована для повышения прокаливаемости конструкционных легированных сталей, имеющих низкую устойчивость аустенита в бейнитной области;

б) горячая деформация низколегированных малоуглеродистых сталей (09Г2, 09Г2ФБ), активизируя распад аустенита, расширяет феррито-перлитную зону и препятствует появлению бейнитной составляющей, что предопределяет возможность ускоренного охлаждения при контролируемой прокатке с целью дополнительного измельчения ферритного зерна и улучшения комплекса механических свойств;

в) ускоряющее действие горячей деформации на кинетику перлитного превращения позволяет поднять температуру изотермической выдержки при отжиге инструментальных сталей на 40-70 °С, для обеспечения дополнительного ~ (25-30 НВ) снижения твердости стали.

Основное содержание диссертации отражено в следующих публикациях:

1. Хлестов В.М., Фролова З.В., Зитин Р.И. Перераспределение углерода в деформированном аустените и кинетика бейнитного превращения // ИММ.-1981.-т.52;вып.1.- С. 127-135.

2. Влияние горячей деформации на  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращение в

низкоуглеродистых мартенситных сталях / В.М.Хлестов, Б.В.Доноплева, Р.И.Этин, З.В.Фролова // Изв.вузов. Черная металлургия. - 1982. № 3. - С. 100-104.

3. Хлестов В.М., Фролова З.В., Этин Р.И. Изменение кинетики превращения аустенита под действием горячей прокатки // Изв. вузов. Черная металлургия. - 1984. - № 2. - С. 67-71.

4. Хлестов В.М., Фролова З.В. Влияние параметров прокатки на аустенитную и конечную структуру стали 09Г2ФБ // Изв.вузов. Черная металлургия. - 1989. - № 4. - С. 68-71.

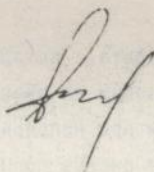
5. А.с. 1643620. Способ обработки инструментальной стали / В.М.Хлестов, З.В.Фролова. - опубл. в Б.И. 1991, № 15.

6. Фролова З.В., Соколов К.Н., Хлестов В.М. О влиянии деформации при БГМО на кинетику фазовых превращений аустенита в изотермических условиях и при непрерывном охлаждении // Тезисы докл. Всесоюзной научно-технической конференции. - Днепропетровск: ЦНИИ, 1981. - С. 34.

7. Соколов К.Н., Фролова З.В., Хлестов В.М. Влияние горячей прокатки на аустенитную и конечную структуру низкоуглеродистых сталей // Тезисы докл. Второй всесоюзной научно-технической конференции. - Днепропетровск: ЦНИИ, 1985. - С. 110.

Личный вклад автора состоит в следующем: (1-7) исследована кинетика превращения деформированного и недеформированного аустенита; (1) проведена термическая и термомеханическая обработка образцов для рентгенографического анализа и электронной микроскопии; (2, 3, 6) построение изотермических и термокинетических диаграмм распада деформированного и недеформированного аустенита; сделан анализ изотермических и термокинетических диаграмм распада деформированного и недеформированного аустенита; (4, 6) определены оптимальные температурно-деформационные

параметры прокатки низкоуглеродистых малолегированных сталей; (4, 5, 7) проведена термическая и термомеханическая обработка образцов для механических испытаний; (5) определена твердость после различных режимов обработки; (I-7) металлографический анализ всех исследованных сталей.



## А Н Н О Т А Ц И Я

Фролова Э.В. Влияние горячей деформации на кинетику превращения аустенита в сталях различного состава. Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 "Металловедение и термическая обработка металлов", Приазовский государственный технический университет, Мариуполь, 1995 г.

Защищается научная работа, которая содержит результаты исследований горячей деформации на кинетику превращения аустенита в изотермических условиях и при непрерывном охлаждении в сталях различного состава. Сделан анализ полученных результатов и предложено их практическое использование.

## A N O T A T I O N

Frolova Z.U. The influence of the hot deformation on the kinetic of the austenite transformation in the steels of different chemical compositions. Manuscript. Thesis for title of candidate of Science (Eng.) in the speciality of "Metal's science and heat treatment metals", Near-Azov State Technical University, Mariupol, 1995.

The scientific work is defended. The it include the results of research the influence of hot deformation on the kinetic of austenite transformation under the isothermal conditions as well as under continious cooling in the steels of different chemical composition. The regular of changing of phase transformation's in line with the different condition of cooling are shown. The analys of results obtained is carried out. The recomendation for practical using are given.

К л я ч о в і с л о в а: горяче деформування, аустеніт, кінетика, сталь різноманітного складу.

Подписано к печати 16.05.95. Заказ №

Тираж 100 экз. Бесплатно.

---

Отпечатано на ротопринтере Приазовского государственного  
технического университета. 34100, Мариуполь, Донецкая Республ.

453978

AB 32.966